

О.В. Водопьянова, С.О. Непряхин

Изучение влияния рассогласования скоростей при непрерывной прокатке на технологические параметры процесса

АННОТАЦИЯ

Одной из главных задач прокатного производства является получение прокатных изделий заданной формы и размеров в соответствии с требованиями стандартов. Особенно важно реализовать эту технологическую задачу при прокатке на непрерывном стане. Связано это прежде всего с высокой производительностью непрерывных прокатных станов, что как результат невыполнения задачи приводит к получению большого объема проката с формой и размерами, не соответствующими требованиям нормативно-технической документации, а, следовательно, к значительным финансовым потерям.

В процессе непрерывной прокатки должно строго соблюдаться условие постоянства секундных объемов, но на практике добиться выполнения этого условия весьма проблематично вследствие постоянно меняющихся условий прокатки. В результате отклонения скоростного режима от согласованного процесса прокатки осуществляется при воздействии продольных сил натяжения или подпора, которые приводят к неуправляемому влиянию на точность проката, а также колебаниям энергосиловых параметров процесса [1-4]. Изучению влияния этих сил на различные параметры непрерывной прокатки посвящено много теоретических и экспериментальных исследований. Однако, горячая сортовая прокатка в калибрах различной формы исследована значительно меньше, чем прокатка с натяжением широких полос [5].

Ключевые слова: непрерывная прокатка, подпор, натяжение, согласованный режим прокатки, моделирование, сортовая прокатка.

В работе была поставлена задача по выявлению влияния сил натяжения (подпора) на технологические параметры процесса, а именно влияние на энергосиловые параметры (усилие и момент прокатки) и формоизменение (изменение ширины), на основе компьютерного моделирования процесса непрерывной прокатки в программном комплексе Deform-3D катанки диаметром 5,5 мм из стали Ст3.

Моделирование осуществлялось при условии непрерывной прокатки в трех смежных клетях в системе калибров овал-круг-овал (рис. 1).

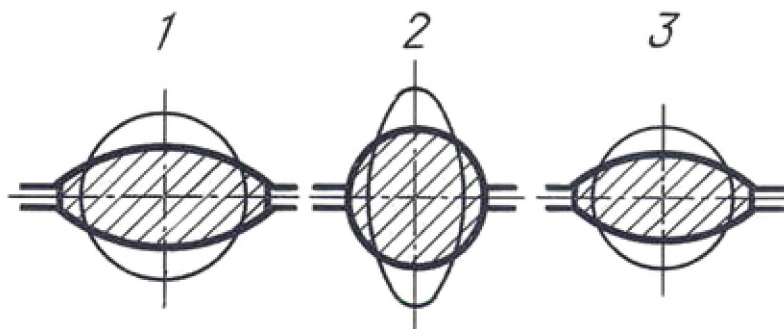


Рисунок 1. Калибровка валков

Чтобы выяснить адекватность результатов моделирования, момент прокатки, полученный в DEFORM 3D для действующего режима прокатки, был сравнен с данными, полученными с мелкосортно-проволочного стана 150 из системного пакета ibaAnalyzer (рис. 2).

Для сравнения необходимо привести нормирование данных, то есть момент прокатки из программы DEFORM 3D перевести в момент загрузки двигателя от номинального момента.

Момент, полученный в DEFORM 3D, с целью нормирования необходимо умножить на коэффициент 4, так как в поставленной модели расчет производится с одним инструментом и в одну нитку (в практических условиях прокатка ведется в две нитки).



Рисунок 2. Загрузка эл. двигателя в процентах от номинального момента 3-й клетки

Загрузка электродвигателя от номинального момента находится по формуле

$$k_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{вал(теор)}} \cdot 4}{M_{\text{дв.н}}}.$$

Данный расчет был произведен для трех точек: при прокатке полосы в первой и второй клетях; в первой, второй и третьей клетях; во второй и третьей клетях. Данные расчета представлены на рис.3.

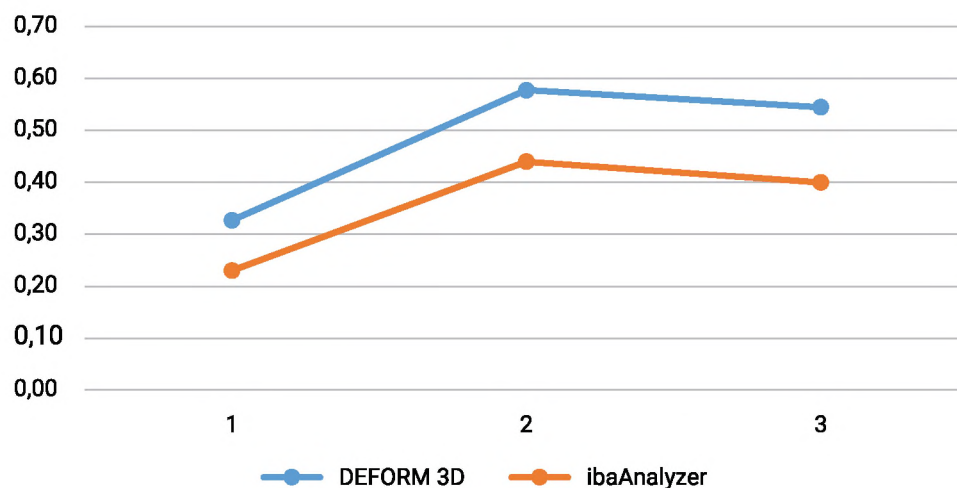


Рисунок 3. График относительной разницы загрузки эл. двигателя от номинального момента 3-й клетки при моделировании в DEFORM 3D и ibaAnalyzer (по оси ординат отложена загрузка электродвигателя; по оси абсцисс номер прохода)

Таким образом, изменения момента деформации в DEFORM 3D качественно соответствует реальным данным, так же, разница между данными с ibaAnalyzer и DEFORM 3D в среднем составляет 11%, что является допустимым. Данный вид кривых можно объяснить тем, что при пересчете моментов из DEFORM 3D использовали коэффициент 2 для перевода момента прокатки в одну нитку в момент прокатки в две нитки, но на практике известно, что момент прокатки в n ниток M_n всегда меньше значения $n \cdot M_1$, где M_1 – момент прокатки в одну нитку [6-9].

Адекватность подтверждается сравнением результатов формоизменения металла (уширения) и не превышает 0,4 %. В результате можно сделать вывод, что созданная модель прокатки в DEFORM 3D в трех смежных клетях адекватна.

С целью определения закономерностей влияния рассогласования скоростей при непрерывной сортовой прокатке по схеме овал-круг-овал (см. рисунок 1) была составлена матрица (латинский квадрат) неполного факторного анализа [10], представленная в таблице. В качестве факторов, влияющих на технологические параметры процесса прокатки, выбрали отклонение частоты вращения валков в рассматриваемой клетке (первая и/или третья) от частоты вращения валков, соответствующей согласованному режиму, определяемой по результатам моделирования.

Отклонение частоты вращения валков в рассматриваемой клетке n_{ϕ} от частоты вращения валков в согласованном режиме n_c рассчитывали по формуле

$$X = \frac{n_{\phi} - n_c}{n_c} \cdot 100\%.$$

Рассогласование скоростей между первой и второй клетями, обозначены $X_1 = (-10 \div 10)$, рассогласование скоростей между второй и третьей клетями – $X_2 = (-10 \div 10)$. Знак «-» для рассогласования скоростей указывает на снижение скорости в первой или третьей клетке, что определяет появление сил заднего натяжения или переднего подпора соответственно. Знак «+» – на повышение скорости в первой или третьей клетке, что определяет появление сил заднего подпора или переднего натяжения соответственно.

Матрица планирования численных расчетов по определению влияния рассогласования скоростей на натяжение

Таблица

Рассогласование скоростей	X_1					
	%	-10	-5	0	5	10
X_2	-10					
	-5					
	0					
	5					
	10					

При совокупности значений рассогласования скоростей, соответствующих затуманенной ячейке составленной матрицы, с применением программного комплекса DEFORM-3D поставлены и решены задачи прокатки в трех смежных клетях по схеме овал-круг-овал. В результате чего определяли значение ширины полосы b , выходящей из третьей клетки (круглый калибр), а также значения силы P и момента M прокатки в этой клетке. В соответствии с составленным планом (см. таблицу) были проведены расчеты при 15 сочетаниях отклонения частоты вращения валков от согласованного режима. В результате получен соответствующий массив численных значений, указанных выше параметров в зависимости от исходных параметров: $b, P, M = f(X_1, X_2)$.

Для оценки влияния скоростного режима прокатки на уширение, были произведены измерения ширины полосы на выходе из второй клетки, при создании натяжения (подпора) первой клетью, и созданием дополнительного натяжения (подпора) третьей клетью. По результатам моделирования построены графики зависимости влияния скоростного режима на изменение ширины полосы (рисунок 3).

Анализируя полученные данные, следует отметить, что при режиме прокатки с задним натяжением (т.е. с уменьшением скорости в первой клетке) ширина полосы уменьшается, аналогично при воздействии переднего натяжения (т.е. с увеличением скорости в третьей клетке). Таким образом, в очаге деформации происходит утяжка полосы. Полученные результаты качественно подтверждают теоретические представления по влиянию натяжения (подпора) на уширение [6, 7].

Натяжение уменьшает величину уширения металла в валках и при значительном натяжении не исключено получение брака изделия из-за невыполнения ширины профиля вследствие непредусмотренного уменьшения уширения металла.

При прокатке с подпором ширина полосы в калибре увеличивается, что связано с накоплением металла на входе и на выходе из очага деформации.

Также необходимо отметить, что при прокатке с натяжением и подпором величина ширины полосы на протяжении процесса изменятся, она нестабильна по длине проката, что отрицательно сказывается на точности профиля.

Установлено, что переднее натяжение оказывает большее влияние на формоизменение полосы, чем заднее натяжение. Вероятно, это связано со значительным уменьшением зоны отставания, где происходит основное уширение, и увеличением зоны опережения. Данные выводы согласуются с выводами работы [11], о том, что при деформации по схеме «равноосное сечение – неравноосное сечение» (в нашем случае схема прокатки в 2 и 3 клетях «круг-овал») наиболее существенное влияние на поперечное формоизменение профиля оказывает переднее натяжение.

При прокатке по схеме «неравноосное сечение – равноосное сечение» (в нашем случае схема прокатки в 1 и 2 клетях «овал-круг») наибольшее влияние на формоизменение оказывает задний подпор, что также согласуется с выводами других авторов [11].

Наибольшее влияние на формоизменение происходит при одновременном воздействии переднего и заднего натяжения (подпора).

В соответствии с составленным планом (см. таблицу) было изучено влияние согласованности скоростного режима на энергосиловые параметры процесса сортовой непрерывной прокатки в трех смежных клетях черновой группы (рис. 5 и 6).

Для оценки влияния скоростного режима прокатки на энергосиловые параметры были произведены измерения усилия и момента прокатки во второй клетке, при создании натяжения (подпора) первой клетью, и созданием дополнительного натяжения (подпора) третьей клетью.

По результатам моделирования построены графики зависимости влияния скоростного режима на усилие (см. рисунок 5) и момент прокатки (см. рисунок 6).

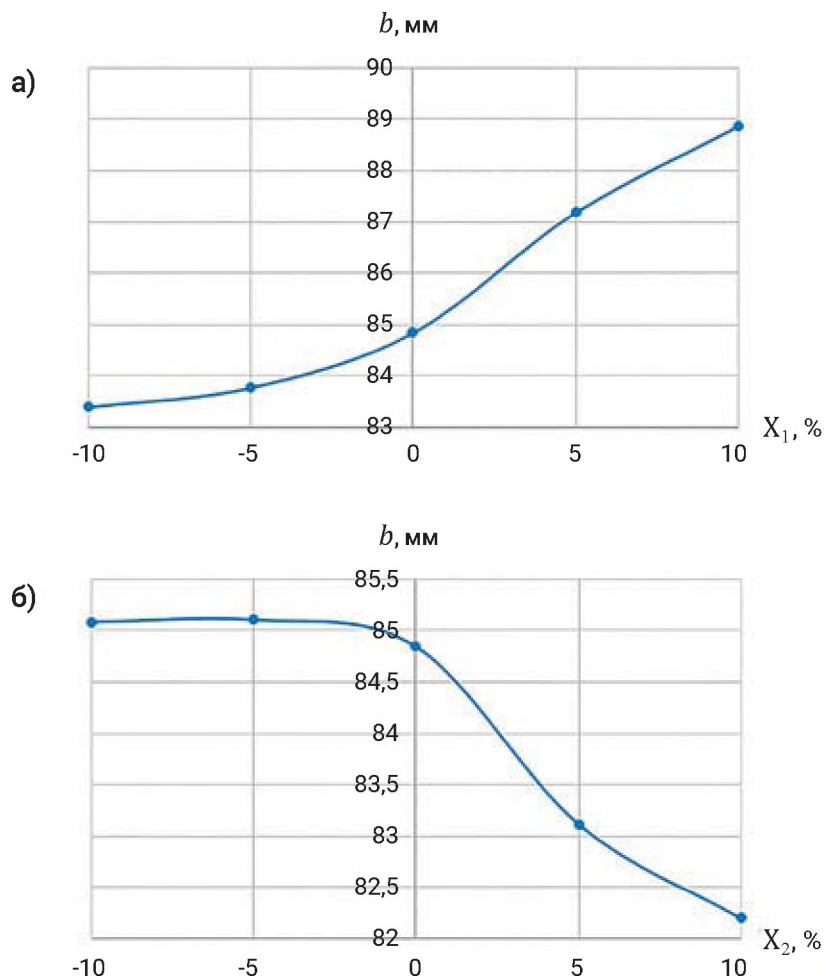


Рисунок 4. Влияние скоростного режима на ширину полосы – заднее натяжение (область «-») и подпор (область «+») (а), переднее натяжение (область «+») и подпор (область «-») (б)

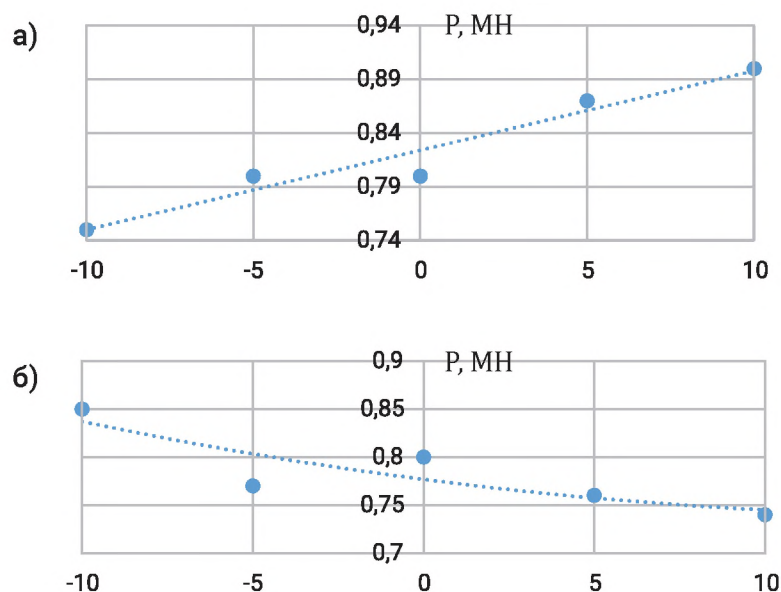


Рисунок 5. Влияние скоростного режима на усилие прокатки – заднее натяжение (область «-») и подпор (область «+») (а), переднее натяжение (область «+») и подпор (область «-») (б)

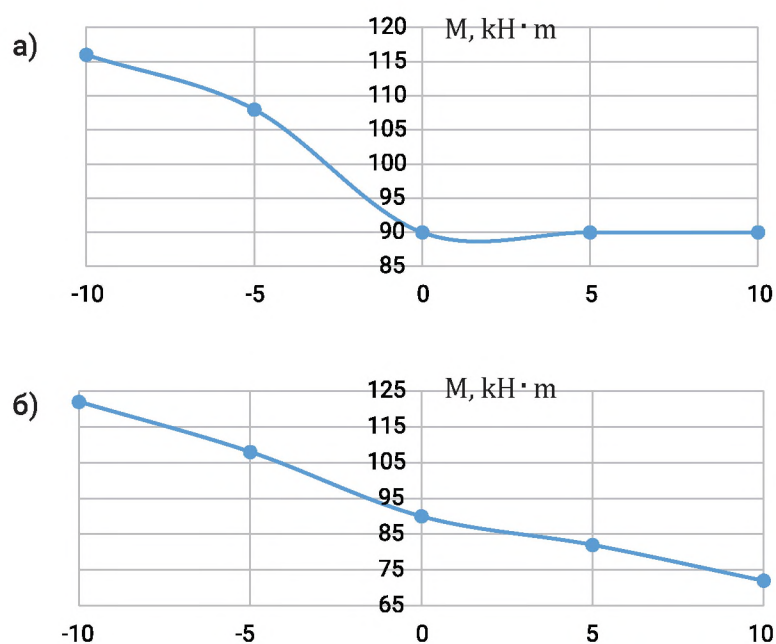


Рисунок 6. Влияние скоростного режима на момент прокатки – заднее натяжение (область «-») и подпор (область «+») (а), переднее натяжение (область «+») и подпор (область «-») (б)

Анализируя полученные данные, следует отметить, что при режиме прокатки с задним (т.е. с уменьшением скорости в первой клетке) и передним (т.е. с увеличением скорости в третьей клетке) натяжением усилие прокатки уменьшается. При заднем и переднем подпоре полосы усилие увеличивается.

Полученные результаты качественно подтверждают теоретические представления по влиянию натяжения (подпора) на усилие и момент прокатки [12].

При заднем и переднем натяжении в сечении полосы возникают растягивающие напряжения, что приводит к уменьшению нормальных сжимающих напряжений, а значит и удельного давления прокатки. При подпоре величины сжимающих напряжений увеличиваются, что в свою очередь приводит к увеличению удельного давления.

В результате действия заднего натяжения и переднего подпора крутящий момент увеличиваются, так как равнодействующая смещается в сторону входа полосы в валки, в результате чего происходит увеличение плеча момента. При переднем натяжении равнодействующая сил отклоняется от вертикали в направлении

движения полосы, что способствует уменьшению плеча силы, а значит и момента прокатки. Задний подпор также способствует уменьшению плеча силы, однако по результатам расчетов, представленным на рисунке 6 (а), изменения момента деформации практически не происходит. Это объясняется обратно пропорциональным увеличением самой силы прокатки (см. рисунок 5, а).

Таким образом, можно сделать вывод, что при прокатке с рассогласованием скоростей прокатки происходит с большой неравномерностью продольных напряжений в полосе, то есть имеются напряжения натяжения и подпора. Неравномерность продольных межклетевых усилий приводит к неравномерной загрузке клеток. Поэтому целесообразно обеспечить прокатку в согласованном режиме.

Так же следует отметить, что программный комплекс DEFORM 3D позволяет улавливать изменения усилия и момента прокатки, и данные изменения качественно согласуются с теоретическими.

ВЫВОДЫ

1. Установлено влияние отклонения скоростного режима прокатки от согласованного на технологические параметры процесса (формоизменение, энергосиловые параметры). Показано, что влияние заднего и переднего натяжения зависит от схемы прокатки «равноосное сечение – неравноосное сечение» или «неравноосное сечение – равноосное сечение».

2. Установлено, что даже небольшие отклонения скоростного режима прокатки от согласованного приводят к заметным изменениям технологических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Онищенко И.И. Теория непрерывной прокатки/ И.И. Онищенко, П.И. Куценко, А.И. Куценко/ Запорожье: изд-во ЗГИА – 1998. – 470с.
2. Чекмарев А.П. Прокатка на мелкосортных станах/ А.П. Чекмарев, В.П. Гречко, В.В. Гетманец, Б.В. Ховрин – М.: Металлургия, 1967. – 366 с.
3. Клименко В.М. Средства контроля и управления точностью сортового проката/ В.М. Клименко, В.М. Камашев, А.А. Минаев и др. – К.: Техника, 1983. – 174 с.
4. Выдрин В.Н. Процесс непрерывной прокатки / В.Н. Выдрин, А.С. Федосенко, В.И. Крайнов/ Изд-во «Металлургия», 1970. – 456 с.
5. Иводитов А.Н. Разработка и освоение технологии производства высококачественной катанки/ А.Н. Иводитов, А.А. Горбанев М.: Металлургия, 1989.
6. Чекмарев А.П. Обработка металлов давлением / А.П. Чекмарев, Л.Н. Левченко – М.: Металлургиздат, 1962 Т. LVIII.
7. Чекмарев А.П. Прокатное производство. – М.: Металлургия, 1965. Т. XXI. С. 237.
8. В. Н. Куваев, П. В. Токмаков, К. Ю. Ключников, П. А. Киселев, О. М. Кириленко, А. В. Русаленко, В. В. Гордиенко. Аналитические исследования нагрузок рабочих клеток стана 230 РУП «БМЗ» при прокатке арматурных профилей из заготовки увеличенного сечения с использованием системы минимального натяжения// Литье и металлургия №3(57). – 2010. С. 204-209
9. Чекмарев А.П., Куцов Ю.Г., Теряев В.А. Исследования давления металла на валки, крутящих моментов и расчет натяжения на непрерывном проволочном стане 250. Сб. Прокатное производство, ток XXXV. М.: Металлургия, 1971. – 242 с.
10. Протодьяков М.М. Методика рационального планирования экспериментов / М.М. Протодьяков, Р.И. Тедер – М.: Наука, 1970. – 77 с.
11. Салганик В.М., Тулупов Д.Н. Исследование уширения металла при сортовой прокатке с натяжением // Перспективные материалы, технологии, конструкции: Сб. науч. тр. КГАЦМИЗ. – Красноярск, 1999. Вып. 5. С. 327-329.
12. Горбанев А.А. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки / А.А. Горбанев, С.М. Жучков, В.В. Филиппов – Мн.: Выш. Шк., 2003. – 287 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ВОДОПЬЯНОВА Ольга Викторовна, магистрант кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина»

НЕПРЯХИН Сергей Олегович, кандидат технических наук, доцента кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина»
E-mail: s.o.nepriakhin@urfu.ru